



Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
M320 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: ELETTRONICA

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del progetto “SIRIO”)

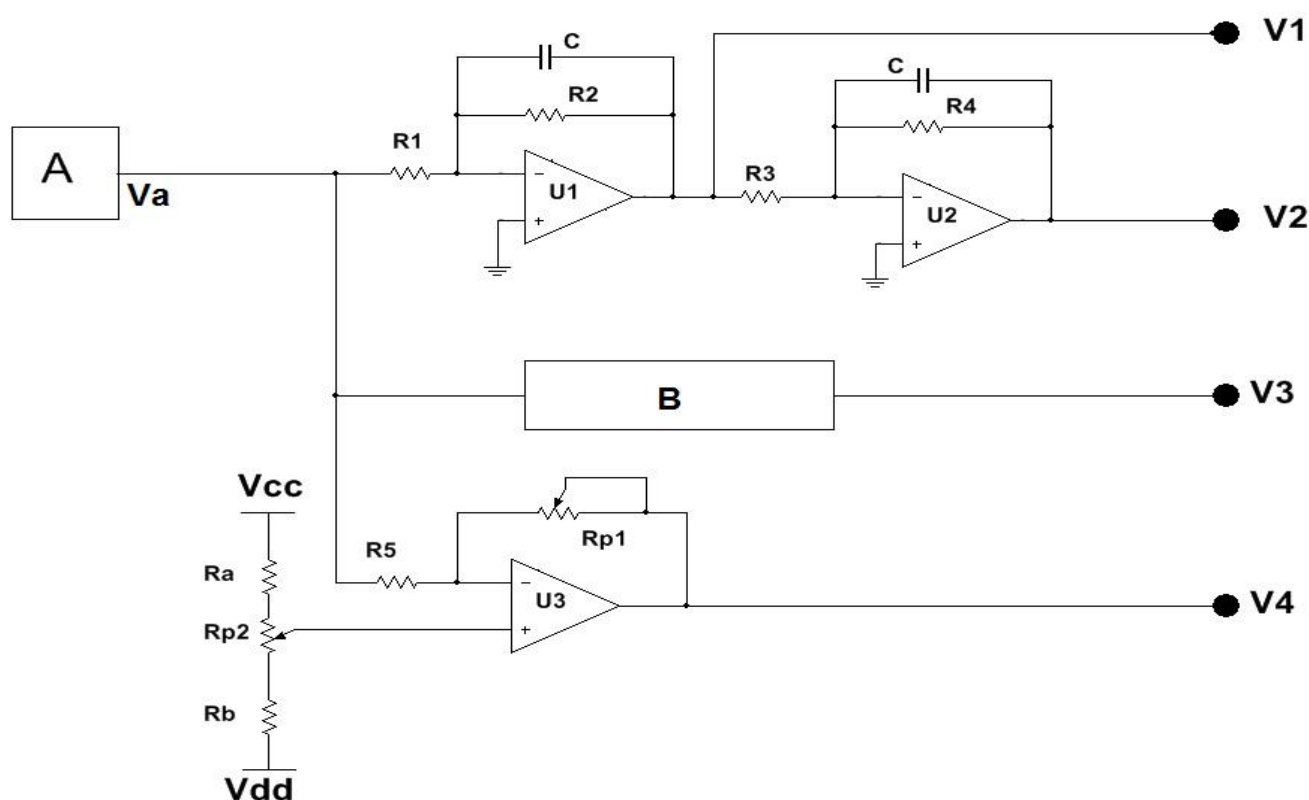
Un dispositivo per la generazione di segnali analogici rispettivamente onda quadra, onda triangolare e sinusoidale è realizzato mediante lo schema in figura secondo le specifiche circuitali di seguito riportate:

- il blocco A fornisce l'ingresso di trigger al dispositivo costituito da un segnale impulsivo V_a con ampiezza ± 10 Volt, Duty Cycle 50% e periodo $100 \mu\text{s}$;
- i condensatori C hanno capacità 10 nF ;
- i resistori e i potenziometri hanno i valori riportati in tabella;
- le tensioni di alimentazione richieste dal dispositivo sono rispettivamente $V_{CC} = +15\text{V}$ e $V_{DD} = -15 \text{ V}$.

Valori dei resistori e dei potenziometri del circuito

R1	R2	R3	R4	R5	Ra	Rb	Rp1	Rp2
5 K Ω	20 K Ω	1K Ω	20 K Ω	20 K Ω	10 K Ω	10 K Ω	1 K Ω	10 K Ω

*i valori della resistenza per potenziometri sono quelli di fondo scala





Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca
M320 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

CORSO DI ORDINAMENTO

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: ELETTRONICA

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del progetto “SIRIO”)

Il candidato, fatte le ipotesi aggiuntive che ritiene opportune, risponda alle seguenti richieste:

1. ricavi la funzione di trasferimento nel dominio della frequenza dei blocchi U1 e U2 (uscite V1 e V2) ed esponga le motivazioni per cui tali circuiti possono considerarsi come integratori di segnale ideali;
2. calcoli il valore del modulo della funzione di trasferimento per i due blocchi in corrispondenza della frequenza del segnale applicato e determini in base a tali valori l'intervallo di variazione delle tensioni V1 e V2;
3. rappresenti graficamente le tensioni ai morsetti V1 e V2 in funzione del tempo motivandone l'andamento;
4. progetti il circuito del blocco B affinché il segnale in uscita al morsetto V3 sia un segnale impulsivo TTL compatibile e di frequenza pari a quella del segnale Va;
5. descriva la funzione del blocco circuitale U3 definendo le conseguenze della variazione di valore di due potenziometri sulla tensione V4.

Inoltre, il candidato discuta almeno uno dei seguenti punti:

1. esponga le problematiche relative alla scelta dei valori per R1, R2, R3, R4 e C al fine della buona qualità dei segnali in uscita;
2. determini la relazione tra il segnale dell'uscita V4 e quello di trigger ponendo i cursori dei potenziometri Rp1 e Rp2 rispettivamente al 50% e al 100%.

Durata massima della prova: 6 ore.

È consentito l'uso di manuali tecnici e di calcolatrice non programmabile.

È consentito l'uso del dizionario bilingue (italiano-lingua del paese di provenienza) per i candidati di madrelingua non italiana.

Non è consentito lasciare l'Istituto prima che siano trascorse 3 ore dalla dettatura del tema.

ESAME DI STATO 2014

ELETTRONICA

ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE
INDIRIZZO: **Elettronica e Telecomunicazioni**

PROPOSTA DI SOLUZIONE

Assumiamo ideale il funzionamento di tutti gli amplificatori operazionali.

1. Riconducendo lo schema dei due filtri alla configurazione invertente, si trovano subito le funzioni di trasferimento

$$T_1(j\omega) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_2 C} \quad \text{da cui } T_1(j\omega) = -4 \cdot \frac{1}{1 + j\omega 0.0002};$$

$$T_2(j\omega) = -\frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R_4 C} \quad \text{da cui } T_2(j\omega) = -20 \cdot \frac{1}{1 + j\omega 0.0002}$$

caratterizzata, per il primo filtro, da un guadagno statico $G_1 = -4$ e da una costante di tempo $\tau_1 = 0.2$ ms e, per il secondo filtro, da un guadagno statico $G_2 = -20$ e una costante di tempo $\tau_2 = 0.2$ ms. La frequenza di taglio, uguale per i due filtri, vale $f_t = 796$ Hz mentre la frequenza del segnale a onda quadra d'ingresso è pari a 10 kHz; essendo quest'ultima molto più alta della frequenza di taglio, per il particolare ingresso applicato i circuiti si comportano quasi come integratori ideali. La condizione è ben evidenziata dal diagramma di Bode dei due filtri.

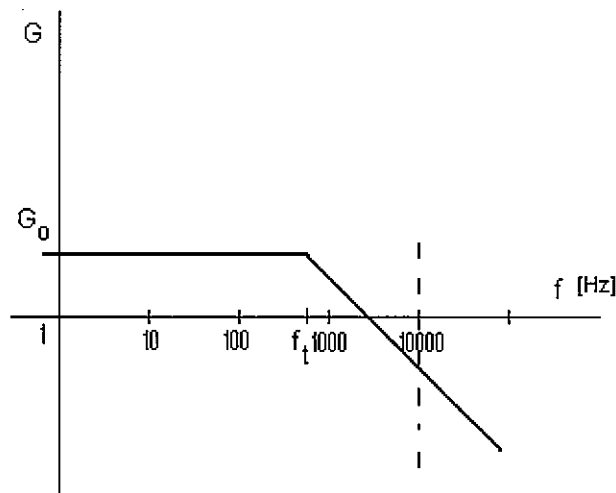


Figura 1 – Diagramma logaritmico della risposta in frequenza dei filtri

2. Il modulo della risposta in frequenza del primo filtro ha espressione

$$|T_1(j\omega)| = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_2 C)^2}} \quad \text{che, in corrispondenza della pulsazione } \omega = 2\pi 10000 \text{ rad/s fornisce il}$$

valore $A_1 = 0.32$. Per il secondo filtro, $|T_2(j\omega)| = \frac{R_4}{R_3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R_4 C)^2}}$ che, calcolato per la medesima pulsazione fornisce il valore di guadagno $A_2 = 1.59$.

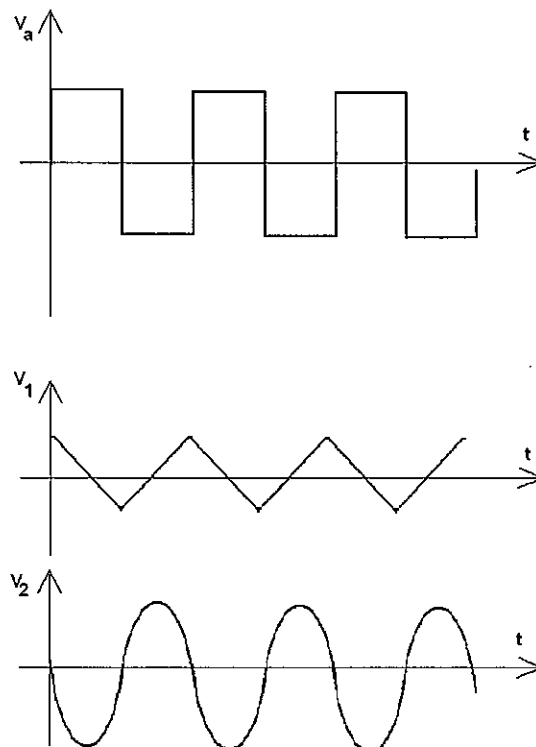
Se i circuiti funzionassero in regime sinusoidale permanente, le ampiezze dei segnali d'uscita si ricaverebbero, per ciascun circuito, moltiplicando per i guadagni sopra calcolati le ampiezze dei rispettivi ingressi. Poiché V_a è un'onda quadra, questo approccio potrebbe applicarsi alla componente armonica fondamentale, ottenendo un risultato approssimativo.

Tuttavia, considerando che il primo filtro funziona da integratore e ha un ingresso a onda quadra, si deduce che V_1 è un'onda triangolare, la cui variazione d'ampiezza nel semiperiodo vale

$$\Delta V_1 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{R_2 C} \int_0^{T/2} V_a(t) dt$$

che, sostituiti $V_a = 10 \text{ V}$ e $T = 100 \mu\text{s}$, fornisce il valore $\Delta V_1 = 10 \text{ V}$. Nel funzionamento a regime, il segnale V_1 avrà valor medio nullo e perciò varierà tra -5 V e $+5 \text{ V}$. L'onda triangolare è l'ingresso del secondo filtro. Un'analisi rigorosa porterebbe a considerare che la funzione integrale di ogni segmento di onda triangolare è in realtà un arco di parabola, ma se si assimila il funzionamento dell'integratore a quello di un filtro passa-basso, risulta accettabile confondere la forma d'onda di V_2 con quella di una sinusoidale, ottenuta eliminando le armoniche a frequenza superiore dall'onda triangolare. La determinazione esatta dell'ampiezza di V_2 è molto laboriosa; con l'approccio suggerito dal testo, moltiplicando l'ampiezza picco – picco di V_1 , pari a 10 V , per l'amplificazione A_2 , si ottiene per V_2 un'ampiezza picco – picco di 15.9 V , approssimazione per eccesso del valore vero.

3. Considerando lo sfasamento introdotto dai filtri, le forme d'onda V_1 e V_2 , messe in relazione con l'ingresso V_a , appaiono come in figura

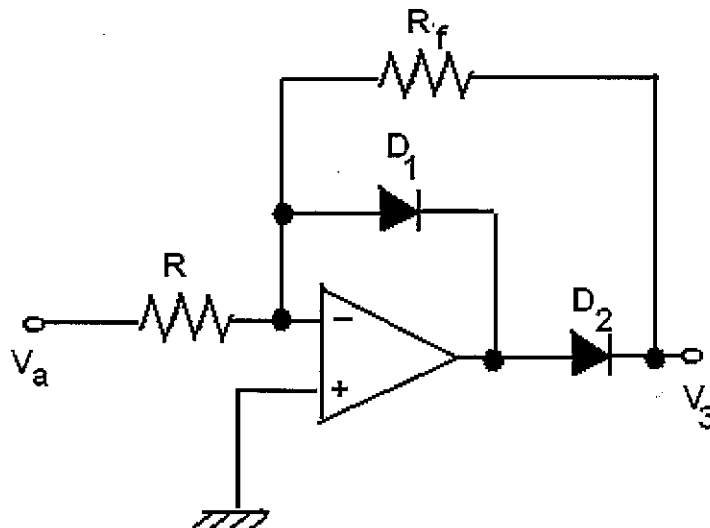


Le tre forme d'onda sono isofrequenziali e hanno le ampiezze sopra discusse.

4. Il blocco B deve convertire l'onda quadra avente livelli di tensione -10 V e $+10 \text{ V}$ in un'onda di pari forma e frequenza, ma di livelli 0 V e 5 V , compatibili con le tensioni di lavoro dei circuiti digitali realizzati per lo standard TTL. Sono possibili varie soluzioni, fra le quali:

- attenuatore seguito da traslatore di livello, realizzati entrambi con amplificatori operazionali;
- raddrizzatore a singola semionda, a diodo, seguito da limitatore a Zener;
- raddrizzatore di precisione a singola semionda.

La terza soluzione è la più semplice; essa fornisce una forma d'onda sfasata di mezzo periodo rispetto alla componente fondamentale dell'ingresso V_a ma rispetta le consegne del testo, che non specificano la fase del segnale da generare. Il circuito proposto è tratto da manuali scolastici, ai quali si rimanda per il funzionamento.



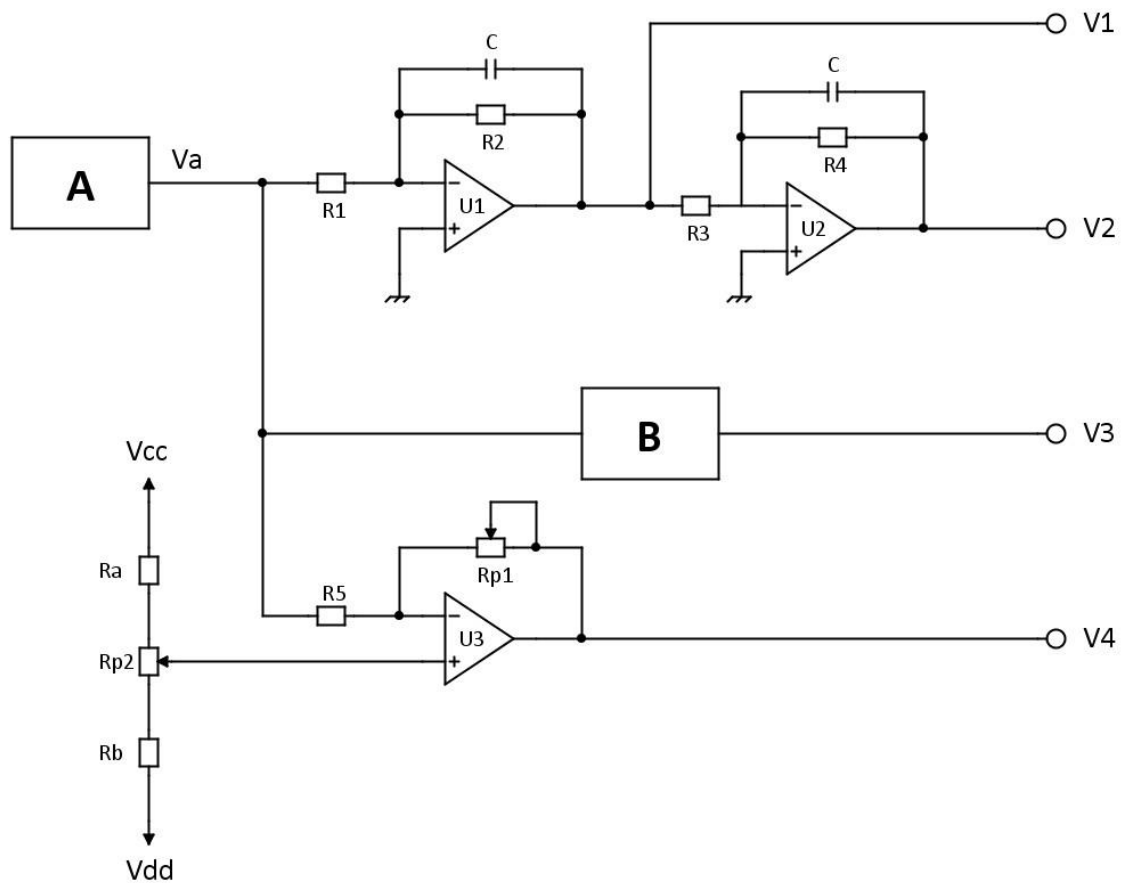
Per convertire l'ampiezza del segnale da 10 V a 5 V, si deve avere $R = 2 R_f$; ad esempio, possiamo porre $R_f = 10 \text{ k}\Omega$ e $R = 20 \text{ k}\Omega$; quest'ultimo non è valore commerciale della comune serie E12 ma può ottenersi dalla serie di due resistori da 10 k Ω .

5. Il blocco U3 è un amplificatore differenziale configurato come un traslatore di livello. Il potenziometro R_{p2} determina l'offset di tensione aggiunto o sottratto al segnale V_a (variabile fra -5 V e $+5 \text{ V}$ secondo la posizione del potenziometro) mentre R_{p1} regola il guadagno dell'amplificatore (guadagno che, per l'ingresso V_a , è sempre minore di uno).

Riguardo agli ultimi due quesiti del testo possiamo osservare quanto segue.

- I) I valori proposti per R_1 , R_2 , R_3 , R_4 e C sono adatti al corretto funzionamento da integratore dei circuiti U1 e U2, condizione che richiede una frequenza di taglio non superiore a un decimo della frequenza di lavoro. L'ordine di grandezza pari alla decina di k Ω è ottimale per considerare ideale il funzionamento degli amplificatori operazionali. Infine, per la capacità, il valore di 10 nF non obbliga all'impiego di un condensatore elettrolitico, non applicabile in presenza di segnali bipolari.
- II) Supponendo del tipo lineare i potenziometri, con le indicazioni del testo attribuiamo a questi i valori di resistenza $R_{p1} = 500 \Omega$ e $R_{p2} = 10 \text{ k}\Omega$ e l'ingresso non invertente si trova al potenziale di 5 V rispetto alla massa. Poiché l'amplificazione per l'ingresso non invertente risulta pressoché unitaria, il segnale d'uscita V_4 è costituito dall'onda quadra V_a attenuata di un fattore 0.025 (R_{p1}/R_5), invertita di segno, e traslata di 5 V.

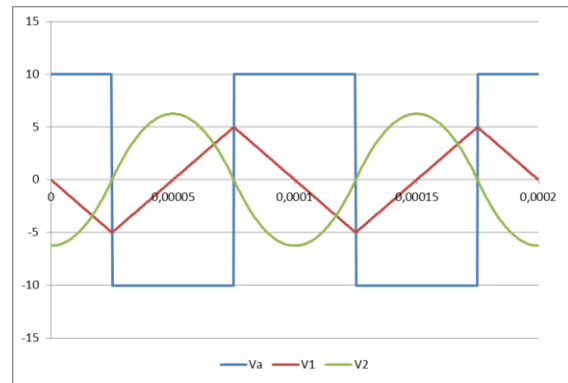
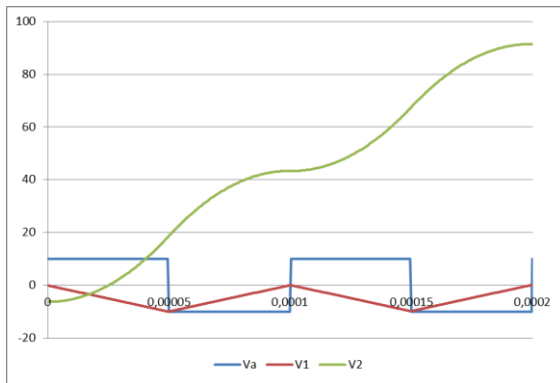
Si ringraziano il prof. Matteo Bertazzoni e Alessio Caligiuri.



Analisi del circuito

Prima di svolgere i cinque punti richiesti dal tema analizziamo brevemente lo schema proposto.

- Il blocco A è chiaramente un astabile con frequenza $f = \frac{1}{T} = 10 \text{ kHz}$
- Il blocco B (da progettare) è un monostabile la cui uscita deve variare tra 0 e 5 V per essere TTL compatibile
- Il blocco relativo all'operazionale U1 è un integratore (supposto ideale nel testo) che genera una rampa crescente o decrescente a seconda del valore assunto da Va, generando sull'uscita V1 un'onda triangolare. Come possiamo vedere dalla figura sotto, il segnale Va deve partire da T/4 per evitare che il segnale V2 diverga
- A sua volta il blocco relativo all'operazionale U2 integra il segnale V1 producendo in uscita dei rami di parabola che approssimano una sinusoide
- Infine il blocco relativo all'operazionale U3 si comporta come un differenziale e serve, fondamentalmente, a fornire un offset al segnale Va



Soluzione

Punto 1

Calcoliamo la funzione di trasferimento del blocco U1. Possiamo scrivere:

$$G_1(j\omega) = -\frac{1}{R1} \cdot (R2 // \bar{X}_c) = -\frac{1}{R1} \cdot \frac{R2 \frac{1}{j\omega C}}{R2 + \frac{1}{j\omega C}} = -\frac{R2}{R1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R2 C}$$

A parte i valori delle resistenze, il blocco U2 è identico al blocco U1; di conseguenza la sua funzione di trasferimento è:

$$G_2(j\omega) = -\frac{R4}{R3} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R4 C}$$

La frequenza di taglio del blocco U1 è data da:

$$f_{t1} = \frac{1}{2\pi R2 C} = \frac{1}{2\pi \cdot 20000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 796 \text{ Hz}$$

Visto che $R2 = R4$, anche la frequenza di taglio del blocco U2 vale $f_{t2} = 796 \text{ Hz}$.

I dati ottenuti mostrano che la condizione di comportamento ideale di un integratore (frequenza di lavoro $f_L \geq 10 f_t$) è pienamente soddisfatta

Punto 2

Calcoliamo il modulo della funzione di trasferimento del blocco U1. Otteniamo:

$$|G_1(j\omega)| = \left| -\frac{R2}{R1} \cdot \frac{1}{1 + j\omega R2 C} \right| = \frac{R2}{R1} \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R2 C)^2}} = 0.32$$

Esprimendo il guadagno in dB abbiamo:

$$|G_1(j\omega)|_{dB} = 20 \log |G_1(j\omega)| \cong -10 \text{ dB}$$

Analogamente per il blocco U2 otteniamo:

$$|G_2(j\omega)| = 1.59$$

$$|G_2(j\omega)|_{dB} \cong 4 \text{ dB}$$

Il testo suggerisce di usare i guadagni calcolati alla frequenza di lavoro per determinare le ampiezze dei segnali in uscita. Dato che stiamo lavorando ad una frequenza di oltre una decade superiore alla frequenza di taglio, possiamo in prima approssimazione considerare solo l'armonica fondamentale dell'onda triangolare.

L'armonica fondamentale dell'onda rettangolare ha ampiezza $V_s = \frac{4 \cdot V_a}{\pi} = 12.74 \text{ V}$. Moltiplicando questo valore per il guadagno G1 otteniamo 4.07 V (valore di picco) che raddoppiato dà un'escursione di 8.14 V. Il valore trovato di V1 è solo una stima ed è approssimato per difetto.

In modo analogo calcoliamo l'ampiezza della pseudo senoide V2 tenendo conto del guadagno totale dei due blocchi. Otteniamo $G_t = 0.51$. Procedendo come per V1 troviamo un'escursione stimata di V2 di 12.96 V. Dato che la forma d'onda V2 è quasi sinusoidale, la stima è sicuramente più precisa della precedente.

Alternativamente, la soluzione matematica può essere ottenuta calcolando l'integrale della funzione di ingresso ai due blocchi.

Per il blocco U1 usiamo la formula:

$$V1 = -\frac{1}{R1 \cdot C} \int V_a dt = -\frac{V_a}{R1 \cdot C} \cdot t + k$$

La massima escursione si ha in un semiperiodo nel quale il valore di ingresso V_a rimane costante. Otteniamo:

$$|\Delta V_1| = \frac{1}{R1 \cdot C} \int_{t_0}^{t_0+T/2} V_a dt$$

Dove t_0 è l'istante in cui l'ingresso cambia stato. Risolviamo ed otteniamo:

$$|\Delta V_1| = \frac{1}{R1 \cdot C} \int_{t_0}^{t_0+T/2} V_a dt = \frac{V_a}{R1 \cdot C} \int_{t_0}^{t_0+T/2} dt = \frac{V_a}{R1 \cdot C} (t_0 + T/2 - t_0) = \frac{V_a}{R1 \cdot C} \cdot \frac{T}{2} = 10 \text{ V}$$

Per calcolare l'escursione di V2 dobbiamo integrare la rampa. Otteniamo:

$$\begin{aligned} V2 &= -\frac{1}{R3 \cdot C} \int V1 dt = -\frac{1}{R3 \cdot C} \int \left(-\frac{V_a}{R1 \cdot C} \cdot t + k \right) dt = -\frac{1}{R3 \cdot C} \int -\frac{V_a}{R1 \cdot C} \cdot t dt - \frac{1}{R3 \cdot C} \int k dt = \\ &= \frac{V_a}{R1 \cdot R3 \cdot C^2} \int t dt - \frac{k}{R3 \cdot C} \int dt = \frac{V_a}{R1 \cdot R3 \cdot C^2} \cdot \frac{t^2}{2} - \frac{k t}{R3 \cdot C} + k2 \end{aligned}$$

Il termine $\frac{k t}{R3 \cdot C}$ provoca la divergenza del segnale V2 all'infinito e, nelle ipotesi fatte, è nullo. Senza perdere di generalità possiamo assumere $k2 = 0$.

Il segnale V2 vale allora:

$$V2 = \frac{V_a}{R1 \cdot R3 \cdot C^2} \cdot \frac{t^2}{2}$$

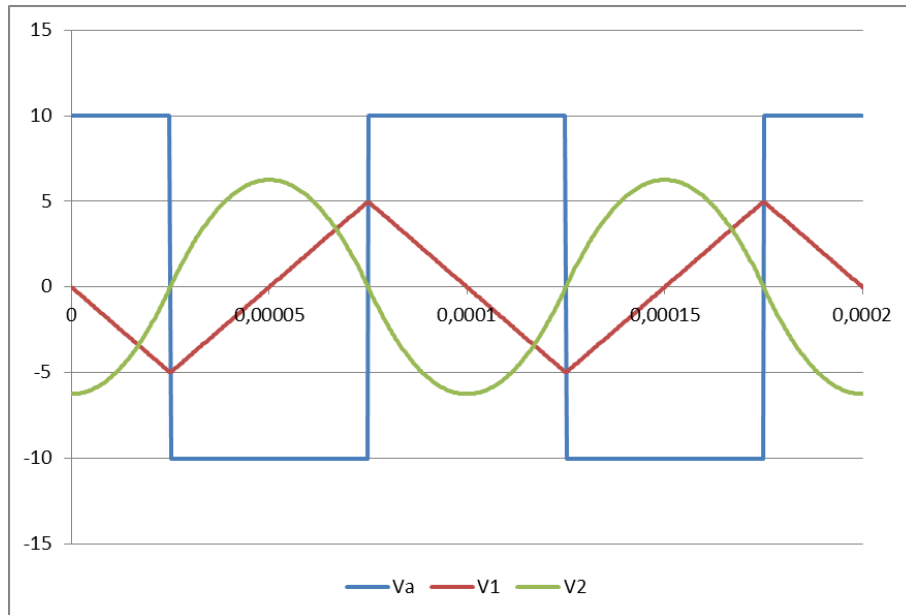
Dalla figura seguente vediamo che il valore massimo di V2 si trova in corrispondenza di $T/4$; in questa situazione il valore di V2 è metà della massima escursione. Troviamo:

$$V2(T/4) - V2(0) = \frac{V_a}{R1 \cdot R3 \cdot C^2} \cdot \frac{(T/4)^2}{2} = 6.25 \text{ V}$$

Come detto, la massima escursione è il doppio del valore trovato e quindi $\Delta V2 = 12.5 \text{ V}$.

Punto 3

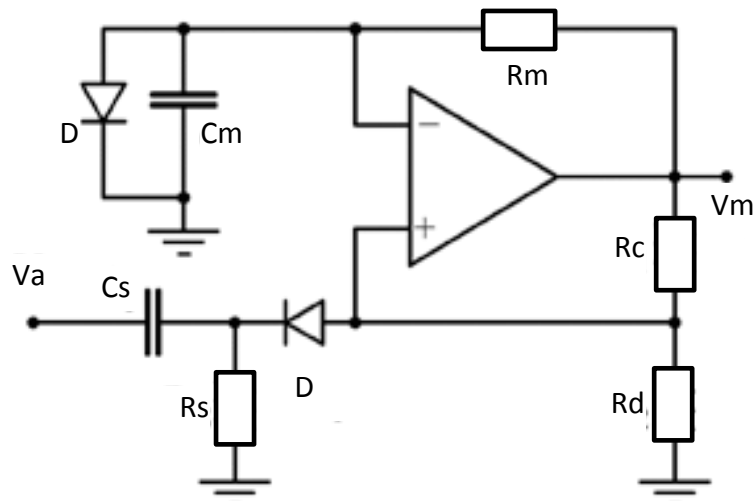
I grafici delle tensioni ai morsetti V1 e V2 in funzione del tempo sono i seguenti.



Dalla figura vediamo che il blocco U1 integra il segnale Va che, essendo costante a tratti, genera un'onda triangolare. Il blocco U2 integra rampe positive e negative generando tratti di parabola che approssimano un'onda sinusoidale.

Punto 4

Per ottenere un segnale impulsivo della stessa frequenza di Va possiamo utilizzare un monostabile. La sua realizzazione con operazionali è mostrata in figura.



Il circuito CR in ingresso serve per ottenere il segnale di comando del monostabile.

Non avendo altre indicazioni, possiamo supporre che il segnale sia impulsivo quando la durata dell'impulso è pari al 5% del periodo.

La sua durata si ottiene mediante la formula:

$$t_m = R_m \cdot C_m \cdot \ln\left(1 + \frac{R_d}{R_c}\right)$$

Ne segue:

$$R_m \cdot C_m \cdot \ln\left(1 + \frac{R_d}{R_c}\right) = 0.05 \cdot 100 \mu s = 5 \mu s$$

Abbiamo una sola equazione e quattro incognite. Possiamo scegliere arbitrariamente 3 valori e calcolare il quarto. Ponendo $R_d = R_c = 10 \text{ kW}$ e $C_m = 1 \text{ nF}$ troviamo $R_m = 7246 \Omega$. Scegliamo $R_m = 6800 \Omega$; il tempo effettivo sarà minore.

Per ottenere il segnale TTL compatibile inseriamo un diodo (che taglia la parte negativa) ed un partitore di tensione che abbassi la tensione V_{sat} dell'operazionale a 5V. A seguire un voltage follower che funge da disaccoppiatore.

Punto 5

Come accennato nell'analisi iniziale, il blocco U3 somma una componente continua data dalla rete R_a , R_{p2} e R_b al segnale V_a (invertito perché entrante nel morsetto invertente) fornendo un offset all'onda rettangolare. L'escursione del segnale in uscita risulta attenuata dal fatto che R_{p1} è minore di R_5 . Il potenziometro R_{p2} varia l'ampiezza del segnale di uscita mentre il potenziometro R_{p1} regola il valore dell'offset.

Punti supplementari

Punto 1

Riguardo alla scelta dei valori delle resistenze è buona norma scegliere valori superiori al $\text{k}\Omega$ ed inferiori al $\text{M}\Omega$. Per quando riguarda il condensatore è necessario non utilizzare condensatori elettrolitici vista l'inadeguatezza delle loro caratteristiche per circuiti di questo tipo.

Punto 2

In base ai dati forniti dal testo, all'ingresso non invertente dell'operazionale U3 abbiamo $V^+ = 5 \text{ V}$. Per calcolare V_4 usiamo il principio di sovrapposizione degli effetti.

$$V_4' = -\frac{R_{p1}}{R_5} V_a = -0.025 V_a$$

$$V_4'' = \left(1 + \frac{R_{p1}}{R_5}\right) V^+ = 5.125 \text{ V}$$

$$V_4 = V_4' + V_4'' = 4.875 \text{ V} \quad (V_a = 10 \text{ V})$$

$$V_4 = V_4' + V_4'' = 5.375 \text{ V} \quad (V_a = -10 \text{ V})$$

Mario Mariani, Massimo Mastroserio

Itis Feltrinelli - Milano

M320 – ESAME DI STATO DI ISTITUTO TECNICO INDUSTRIALE

Corso di orientamento

Indirizzo: ELETTRONICA E TELECOMUNICAZIONI

Tema di: ELETTRONICA

(Testo valevole per i corsi di ordinamento e per i corsi sperimentali del progetto “SIRIO”)

Punto 1

Si calcolano le funzioni di trasferimento:

$$\frac{V_1(s)}{V_a(s)} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{(1 + sCR_2)} = -\frac{4}{(1 + 0,0002s)}$$

$$\frac{V_2(s)}{V_a(s)} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_1 \cdot R_3} \cdot \frac{1}{(1 + sCR_2) \cdot (1 + sCR_4)} = \frac{80}{(1 + 0,0002s)^2}$$

L'integratore attivo reale presenta un'amplificazione molto alta a basse frequenze e un'amplificazione teoricamente infinita per la continua. Per cui, per limitare il guadagno in continua, l'integratore può essere convenientemente realizzato mediante un filtro passa-basso attivo che si comporta da integratore pur di operare a frequenze nettamente superiori alla frequenza di taglio f_T di almeno una decade.

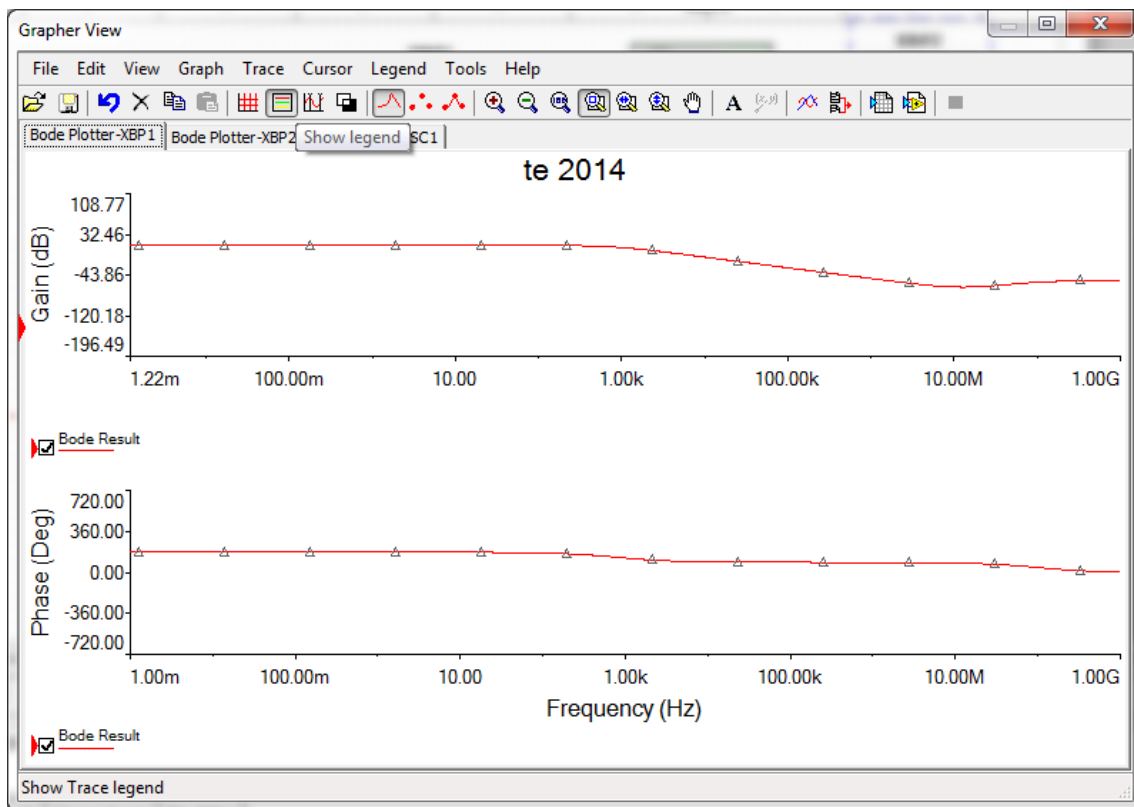
Quindi: $f > 10 \cdot f_T$

Così facendo, nel caso di un filtro passa-basso di primo ordine, opererebbe in una zona in frequenza in cui ha un guadagno di -20 dB/dec.

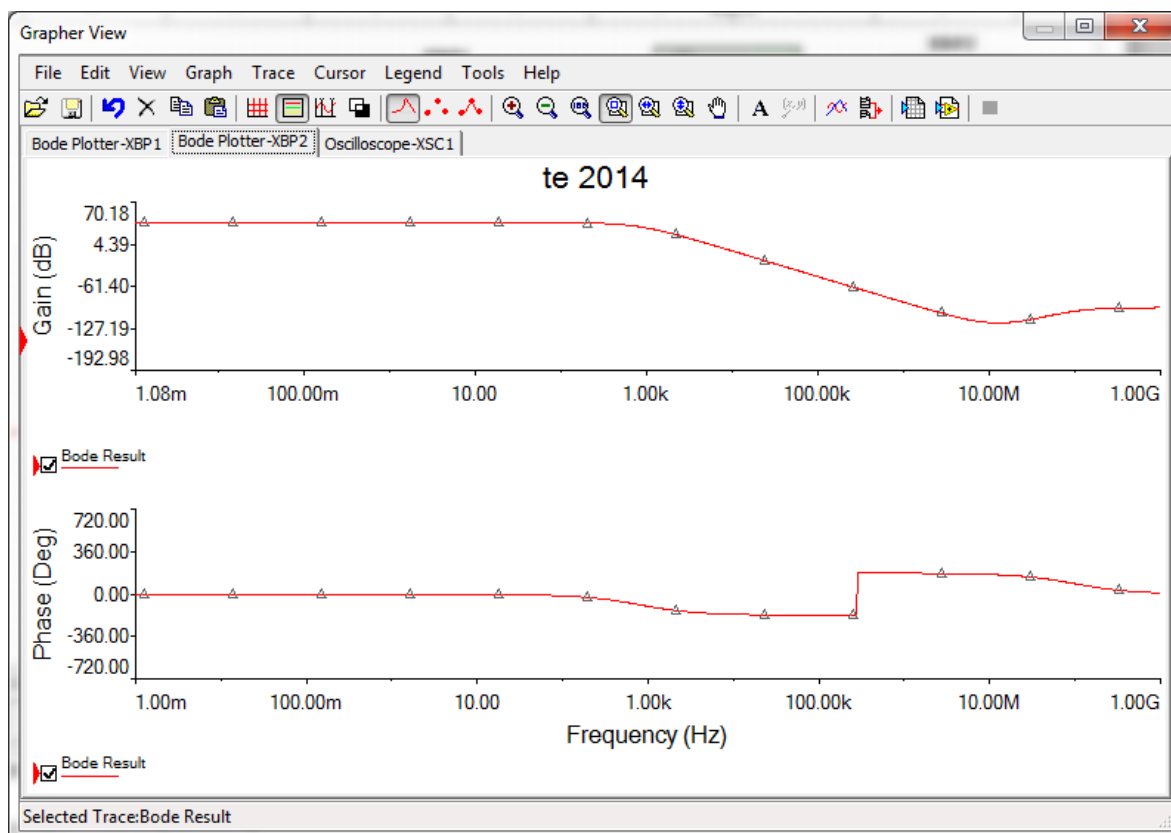
Per il sistema in esame la frequenza di taglio vale:

$$f_T = \frac{1}{2\pi \cdot 0,0002} = 796 \text{ Hz}$$

In figura è riportato il diagramma di Bode della fdt $\frac{V_1(s)}{V_a(s)}$:



In figura è riportato il diagramma di Bode della fdt $\frac{V_2(s)}{V_a(s)}$:



Punto 2

La massima frequenza dell'onda quadra emessa dal blocco A, vale:

$$f_A = \frac{1}{100\mu} = 10 \text{ kHz}$$

Operiamo come se il segnale d'ingresso sia sinusoidale a frequenza 10 kHz (in alternativa per l'onda quadra sarebbe necessario integrare per tutte le armoniche da cui è composta).

Il modulo della funzione di trasferimento per i due blocchi in corrispondenza della frequenza del segnale applicato vale:

$$\left| \frac{V_1(s)}{V_a(s)} \right| = \left| -\frac{4}{(1 + 0,0002 \cdot 2\pi \cdot 10 \text{ k})} \right| = 0,2945$$

$$\Rightarrow G = -10,61 \text{ dB}$$

La tensione in uscita varia tra $V_1 = \pm 2,9 \text{ V}$

$$\left| \frac{V_2(s)}{V_a(s)} \right| = \left| \frac{80}{(1 + 0,0002 \cdot 2\pi \cdot 10 \text{ k})^2} \right| = 0,5039$$

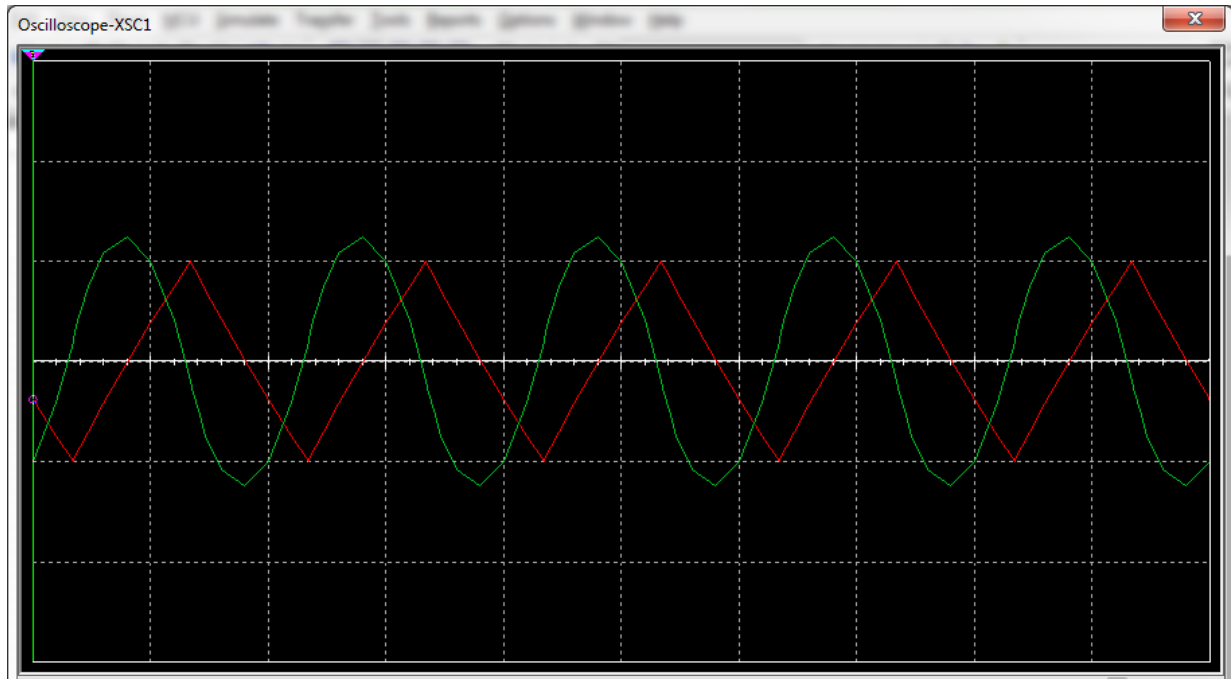
$$\Rightarrow G = -5,95 \text{ dB}$$

La tensione in uscita varia tra $V_2 = \pm 5 \text{ V}$

Punto 3

La tensione in uscita da V_1 è triangolare pur di operare a frequenze $f > 10 \cdot f_T$ come del resto si è fatto, dato che il segnale onda quadra ha frequenza $f_A = 10$ kHz. È possibile lanciare la simulazione in Multisim e visualizzare i segnali sull'oscilloscopio di cui si riporta lo schermo nella figura seguente. Questo segnale è riportato di colore rosso.

Il blocco U_2 integra il segnale triangolare a frequenza 10 kHz proveniente da V_1 il quale in uscita da V_2 tende ad essere sinusoidale. Tutte le armoniche superiori alla frequenza di taglio del secondo filtro vengono ulteriormente attenuate da questo e in uscita si ottiene un segnale con un gruppo ancor più ridotto di armoniche tendente ad una sola (al limite, se si avesse la sola armonica fondamentale, si produrrebbe V_2 sinusoidale). Questo segnale è riportato di colore verde nella figura seguente.

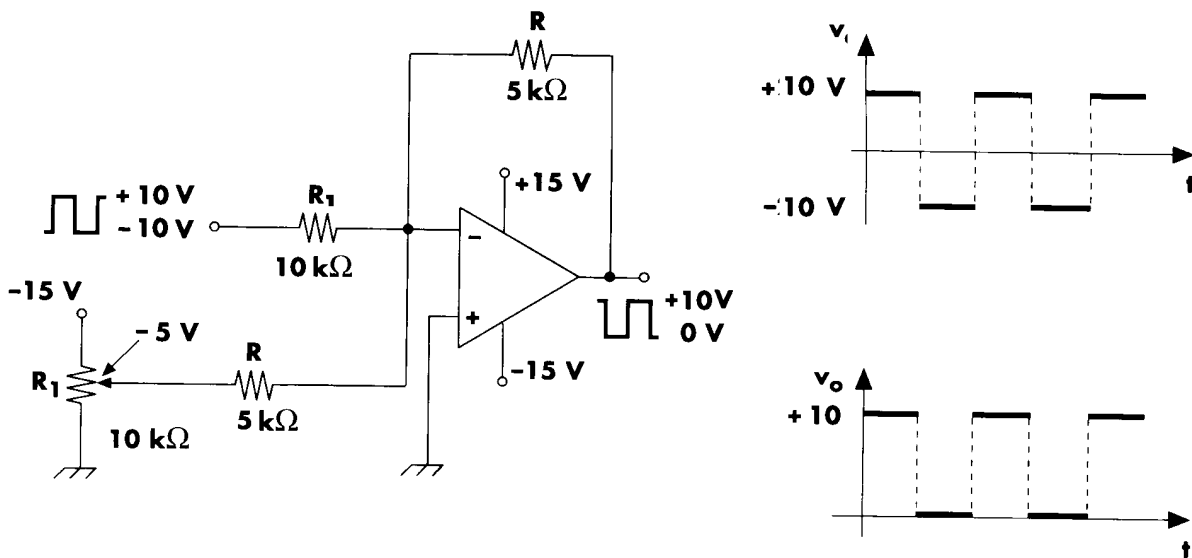


Punto 4

Il segnale fornito dal generatore $\pm 10\text{ V}$ viene applicato in ingresso ad un attenuatore, capace di ridurre il segnale alternato quadro a un valore di 5 V di picco; a questo segnale si somma una tensione continua di 5 V in modo da ottenere un segnale TTL tra 0 e 10 V . Supposto in ingresso solo il segnale onda quadra, $R/R_1 = 0,5$ garantisce in uscita un segnale 5 V di picco. Questo valore è determinato operando il rapporto delle tensioni uscita/ingresso:

$$5\text{ V}/10\text{ V} = 0,5$$

Per quanto riguarda l'altro ingresso del sommatore il guadagno è -1 e quindi per avere in uscita una componente continua $V = +5\text{ V}$ bisogna applicare in ingresso una tensione continua di -5 V . Questo valore è ricavato dalla tensione di alimentazione $V_{dd} = -15\text{ V}$, tramite un trimmer potenziometrico da tarare sperimentalmente.



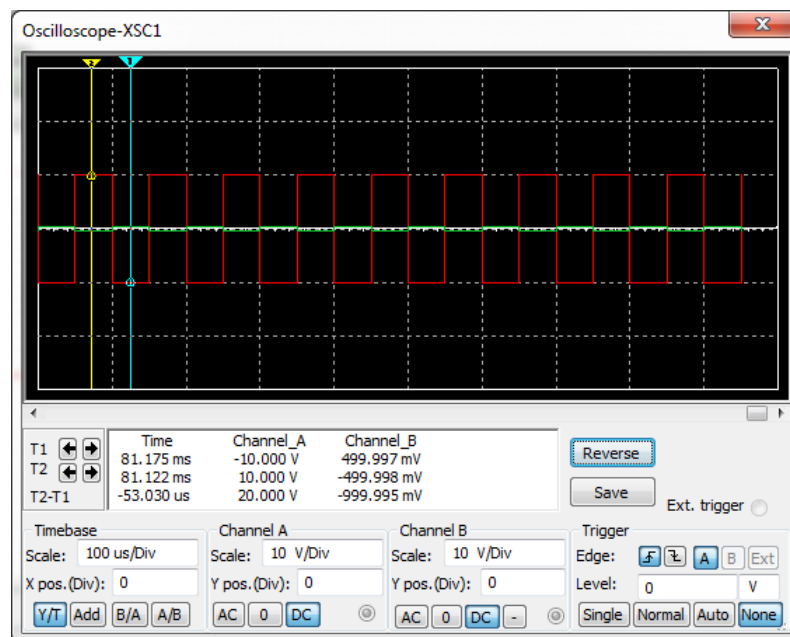
Punto 5

L'uscita dal blocco circuitale V_4 è un'onda quadra invertita rispetto a quella emessa da A, dato che il segnale è collegato all'ingresso negativo dell'OP.AMP., attenuata R_{p1}/R_5 e traslata per mezzo di R_{p2} .

Analizziamo l'effetto dei due trimmer considerando che essendo il sistema lineare vale il principio di sovrapposizione degli effetti, per cui l'effetto finale è dato dalla somma degli effetti prodotti da ogni singolo generatore di segnale quando gli altri generatori sono spenti. Mettendo a massa $V+$ dell'OP.AMP. e ruotando il trimmer R_{p1} il segnale prodotto su V_4 è attenuato del rapporto tra R_{p1}/R_5 rispetto a V_A in ingresso.

Ruotando il trimmer tutto in un verso, in modo che fornisca una resistenza di 1k, il segnale in ingresso è attenuato della quantità: $R_{p1}/R_5 = 1\text{ k}/20\text{ k} = 0,05$. Per cui produce

$$V_4 = V_A \cdot (-0,05) = \pm 10\text{ V} \cdot (-0,05) = \pm (-0,5)\text{ V}$$



Ruotando il trimmer nell'altro verso, in modo che fornisca una resistenza nulla, il segnale in ingresso è abbattuto totalmente:

$$V_4 \cong 0$$

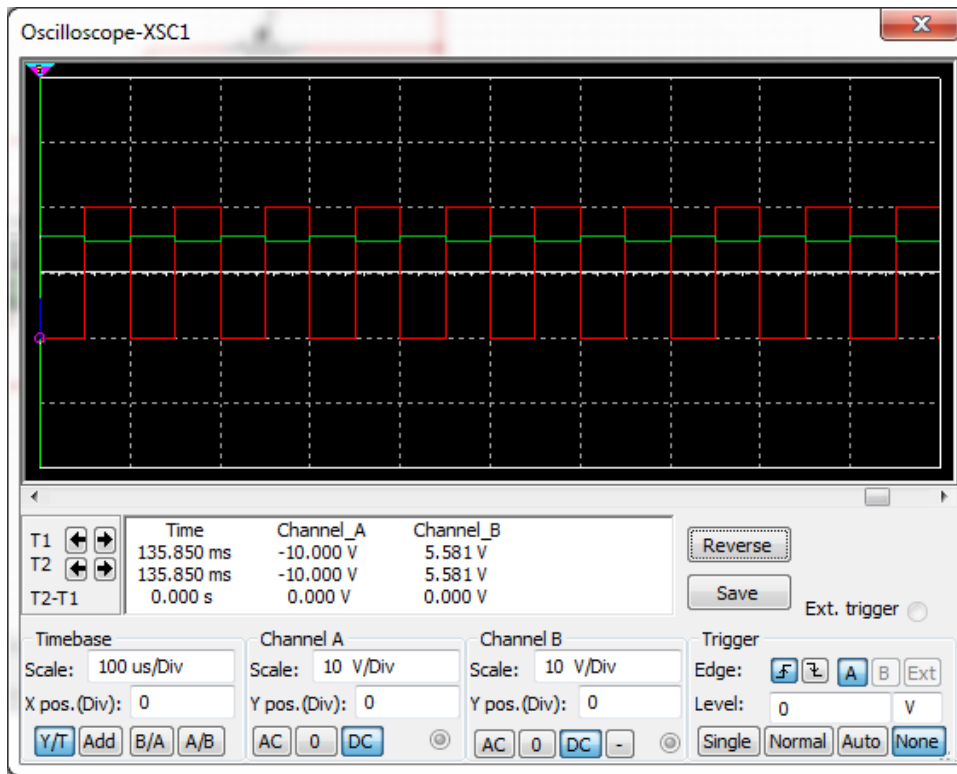
Agendo sul trimmer R_{p2} invece si produce una traslazione di livello, variando la continua che viene sommata al segnale onda quadra. Ruotando il potenziometro tutto in un verso si ottiene una tensione di 5 V, mentre tutto nell'altro verso -5 V. Infatti sul circuito di riferimento scorre una corrente:

$$I = \frac{15 - (-15)}{30\text{ k}} = 1\text{ mA}$$

Le due figure seguenti riportano le misure effettuate dall'oscilloscopio di Multisim (con $R_{p1}/R_5 = 0,05$): il segnale V_A è in rosso e l'uscita V_4 è in verde.

In un caso la resistenza mostrata all'ingresso positivo dell'OP.AMP. vale $20\text{ k}\Omega$ per cui per cui si ottiene una traslazione verso l'alto del segnale in uscita di:

$$V+ = -15 + 1\text{ mA} \cdot 20\text{ k}\Omega = 5\text{ V}$$



Mentre nell'altro caso la resistenza mostrata all'ingresso positivo dell'OP.AMP. vale $10\text{ k}\Omega$ per cui si ottiene una traslazione verso il basso del segnale in uscita:

$$V_+ = -15 + 1\text{ mA} \cdot 10\text{ k}\Omega = -5\text{ V}$$

